

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-016312

(43)Date of publication of application : 18.01.2002

(51)Int.Cl.

H01S 5/042

H01L 21/28

H01L 33/00

H01S 5/343

(21)Application number : 2000-192722 (71)Applicant : SANYO ELECTRIC CO LTD

(22)Date of filing : 27.06.2000 (72)Inventor : HAYASHI NOBUHIKO
YAMAGUCHI TSUTOMU

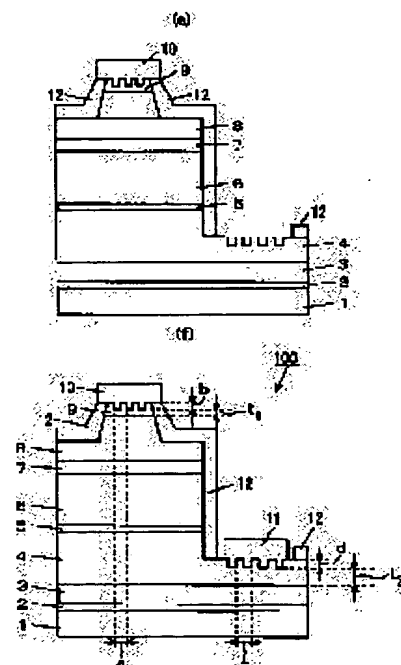
(54) NITRIDE SEMICONDUCTOR ELEMENT AND ITS MANUFACTURING METHOD

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a nitride semiconductor element whose operation voltage can be reduced by reducing contact resistance with electrodes, and its manufacturing method.

SOLUTION: In a semiconductor laser element 100, a buffer layer 2, an undoped GaN layer 3, an N-GaN contact layer 4, an N-InGaN crack preventing layer 5, an N-AlGaN clad layer 6, an MQW light emitting layer 7, a P-AlGaN clad layer 8, and a P-GaN contact layer 9 are laminated in order on a (0001) face of a sapphire substrate 1. A ridge is formed on the P-GaN contact layer 9 and the P-AlGaN clad layer 8, and unevenness is formed on the upper surface of the ridge.

Unevenness is formed on the surface of a prescribed region of the N-GaN contact layer 4 which is exposed by etching. A P-electrode 10 and an N-electrode 11 are formed on the N-GaN contact layer 4 wherein unevenness is formed.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 12.10.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 03.06.2003

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection]

or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's
decision of rejection] 2003-12134

[Date of requesting appeal against
examiner's decision of rejection] 30.06.2003

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-16312

(P2002-16312A)

(43) 公開日 平成14年1月18日 (2002.1.18)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テーマコード* (参考)

H 0 1 S 5/042

6 1 0

H 0 1 S 5/042

6 1 0

4 M 1 0 4

H 0 1 L 21/28

H 0 1 L 21/28

A

5 F 0 4 1

33/00

33/00

E

5 F 0 7 3

C

H 0 1 S 5/343

H 0 1 S 5/343

審査請求 有 請求項の数11 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号

特願2000-192722(P2000-192722)

(22) 出願日

平成12年6月27日 (2000.6.27)

(71) 出願人 000001889

三洋電機株式会社

大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号

(72) 発明者 林 伸彦

大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三

洋電機株式会社内

(72) 発明者 山口 勤

大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三

洋電機株式会社内

(74) 代理人 100098305

弁理士 福島 祥人 (外1名)

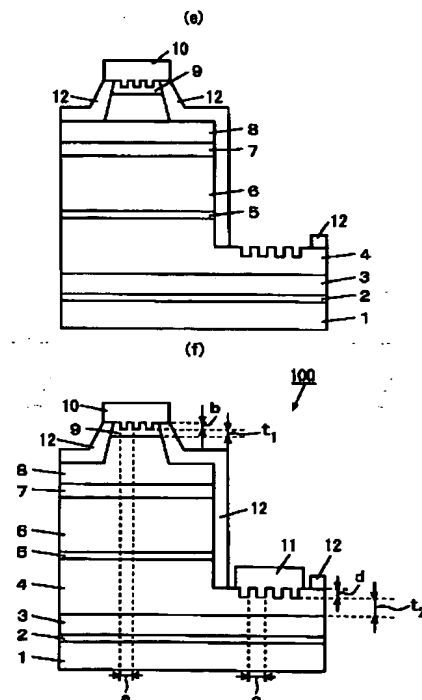
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 窒化物系半導体素子およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 電極との接触抵抗を低減することにより動作電圧の低減を図ることが可能な窒化物系半導体素子およびその製造方法を提供することである。

【解決手段】 半導体レーザ素子100は、サファイア基板1の(0001)面上に、バッファ層2、アンドープGaN層3、n-GaNコンタクト層4、n-InGaNクラック防止層5、n-AlGaNクラッド層6、MQW発光層7、p-AlGaNクラッド層8およびp-GaNコンタクト層9が順に積層されてなる。p-GaNコンタクト層9およびp-AlGaNクラッド層8にリッジ部が形成され、リッジ部上面に凹凸形状が形成されている。また、エッチングにより露出したn-GaNコンタクト層4の所定領域表面に凹凸形状が形成されている。さらに、凹凸形状が形成されたp-GaNコンタクト層4上にp電極10およびn電極11が形成されている。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 III族窒化物系半導体層の電極形成領域の表面に周期的または不規則に凹凸形状が形成され、前記凹凸形状が形成された電極形成領域上面にオーミック電極が形成されたことを特徴とする窒化物系半導体素子。

【請求項2】 前記III族窒化物系半導体層は、III族窒化物系半導体からなる基板を含むことを特徴とする請求項2記載の窒化物系半導体素子。

【請求項3】 基板上に、第1導電型の第1のIII族窒化物系半導体層と、III族窒化物系半導体からなる能動素子領域と、第2導電型の第2のIII族窒化物系半導体層とが順に形成されてなる窒化物系半導体素子であって、前記第1のIII族窒化物系半導体層の所定領域に第1の電極形成領域が配置されるとともに前記第2のIII族窒化物系半導体層の所定領域に第2の電極形成領域が配置され、前記第1の電極形成領域の表面および前記第2の電極形成領域の表面の少なくとも一方に周期的または不規則に凹凸形状が形成され、前記第1の電極形成領域上に第1導電型のオーミック電極が形成されるとともに前記第2の電極形成領域上に第2導電型のオーミック電極が形成されたことを特徴とする窒化物系半導体素子。

【請求項4】 前記第1導電型の第1のIII族窒化物系半導体層は第1のコンタクト層を含み、前記第2導電型の第2のIII族窒化物系半導体層は第2のコンタクト層を含み、前記第1のコンタクト層の所定領域に前記第1の電極形成領域が配置されるとともに前記第2のコンタクト層の所定領域に前記第2の電極形成領域が配置され、前記第1のコンタクト層の前記第1の電極形成領域の表面および前記第2のコンタクト層の前記第2の電極形成領域の表面の少なくとも一方に前記凹凸形状が形成されたことを特徴とする請求項3記載の窒化物系半導体素子。

【請求項5】 共振器を構成する光導波路を含む前記能動素子領域は発光層であり、前記第1導電型の第1のIII族窒化物系半導体層はさらに第1のクラッド層を含み、前記第2導電型の第2のIII族窒化物系半導体層はさらに第2のクラッド層を含み、前記第2のコンタクト層に配置された第2の電極形成領域の表面に共振器端面に平行に延びる回折格子を構成する凹凸形状が形成されたことを特徴とする請求項4記載の窒化物系半導体素子。

【請求項6】 前記凹凸形状は、複数のストライプ状の凹部および凸部から構成されることを特徴とする請求項3～5のいずれかに記載の窒化物系半導体素子。

【請求項7】 導電性基板の一方の面に、第1導電型の第1のIII族窒化物系半導体層と、III族窒化物系半導体からなる能動素子領域と、第2導電型の第2のIII族窒化物系半導体層とが順に形成されてなる窒化物系半導

体素子であって、前記導電性基板の他方の面の所定領域に第1の電極形成領域が配置されるとともに前記第2のIII族窒化物系半導体層の所定領域に第2の電極形成領域が配置され、前記第1の電極形成領域および前記第2の電極形成領域のうち少なくとも前記第1の電極形成領域の表面に凹凸形状が形成され、前記第1の電極形成領域上に第1導電型のオーミック電極が形成されるとともに、前記第2の電極形成領域上に第2導電型のオーミック電極が形成されたことを特徴とする窒化物系半導体素子。

【請求項8】 前記導電性基板は窒化ガリウムから構成されることを特徴とする請求項7記載の窒化物系半導体素子。

【請求項9】 III族窒化物系半導体層に電極形成領域を形成する工程と、前記電極形成領域の表面に凹凸形状を形成する工程と、前記凹凸形状を形成した電極形成領域上にオーミック電極を形成する工程とを備えたことを特徴とする窒化物系半導体素子の製造方法。

【請求項10】 前記III族窒化物系半導体層は、III族窒化物系半導体からなる基板を含むことを特徴とする請求項9記載の窒化物系半導体素子の製造方法。

【請求項11】 前記凹凸形状を形成する工程は、前記電極形成領域をエッチングする工程、または前記電極形成領域を研磨する工程を含むことを特徴とする請求項9または10記載の窒化物系半導体素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、BN（窒化ホウ素）、GaN（窒化ガリウム）、AlN（窒化アルミニウム）、InN（窒化インジウム）もしくはTlN（窒化タリウム）またはこれらの混晶等のIII-V族窒化物系半導体（以下、窒化物系半導体と呼ぶ）からなる半導体素子およびその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、高密度かつ大容量の光ディスクシステムに用いられる記録または再生用の光源として、青色または紫色の光を発する窒化物系半導体レーザ素子の研究開発が行われている。

【0003】図8は、従来のGaN系半導体レーザ素子の例を示す模式的な断面図である。図8に示す半導体レーザ素子は、サファイア基板81のC（0001）面にバッファ層82、アンドープGaN層83、n-GaNコンタクト層84、n-InGaNクラッド防止層85、n-AlGaNクラッド層86、InGaNからなる発光層87、p-AlGaNクラッド層88およびp-GaNコンタクト層89が順に形成されてなる。

【0004】p-GaNコンタクト層89からp-AlGaNクラッド層88間での一部領域が所定深さまでエッチングされ除去されている。それにより、p-GaNコンタクト層89およびp-AlGaNクラッド層88

からなるストライプ状のリッジ部が形成されるとともに、 $p\text{-AlGaIn}$ クラッド層88に平坦部が形成される。このリッジ部の $p\text{-GaIn}$ コンタクト層89上にp電極131がオーミック接触している。また、 $p\text{-AlGaIn}$ クラッド層88の平坦部から $n\text{-GaIn}$ コンタクト層84までの一部領域がエッチングにより除去され、 $n\text{-GaIn}$ コンタクト層84のn電極形成領域が露出している。この露出したn電極形成領域上にn電極132がオーミック接触している。

【0005】リッジ部の両側面、 $p\text{-AlGaIn}$ クラッド層88の平坦部上面、 $p\text{-AlGaIn}$ クラッド層88から $n\text{-GaIn}$ コンタクト層84までの側面、ならびにn電極132が形成された領域を除く $n\text{-GaIn}$ コンタクト層84上面に SiO_2 等のSi酸化物からなる絶縁膜95が形成されている。

【0006】なお、上記の半導体レーザ素子の $n\text{-GaIn}$ コンタクト層84、 $n\text{-InGaIn}$ クラック防止層85および $n\text{-AlGaIn}$ クラッド層86においては、n型ドーパントとしてSiが用いられている。一方、 $p\text{-AlGaIn}$ クラッド層88および $p\text{-GaIn}$ コンタクト層89においては、p型ドーパントとしてMgが用いられている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】上記の半導体レーザ素子のp型半導体層88、89においては、p型ドーパントであるMgを活性化しにくい。このため、半導体レーザ素子のp型半導体層88、89においてはキャリア濃度を高くすることが困難であり、p型半導体層88、89における抵抗が大きくなる。

【0008】特に、p電極131とオーミック接触している $p\text{-GaIn}$ コンタクト層89の抵抗が大きいことから、p電極131と $p\text{-GaIn}$ コンタクト層89との接触抵抗が増大する。このため、p電極131と良好なオーミック接触を得ることが困難である。それにより、半導体レーザ素子において動作電圧が高くなる。

【0009】このように、上記の半導体レーザ素子においては動作電圧が高くなるため、動作時における発熱量が大きくなる。このため、半導体レーザ素子の劣化が著しく、素子の寿命が短い。

【0010】ところで、上記の半導体レーザ素子においては $n\text{-GaIn}$ コンタクト層84が形成される場合について説明したが、発光層87における光の閉じ込めを効果的に行うためには、 $n\text{-AlGaIn}$ からなる $n\text{-AlGaIn}$ コンタクト層を形成することが好ましい。

【0011】しかしながら、このような $n\text{-AlGaIn}$ コンタクト層においては、 $n\text{-GaIn}$ コンタクト層に比べてキャリア濃度を高くすることが困難である。このため、 $n\text{-AlGaIn}$ コンタクト層を形成した場合においては、 $n\text{-GaIn}$ コンタクト層を形成した場合に比べて、コンタクト層の抵抗が大きくなり、n電極132と

の接触抵抗が大きくなる。したがって、この場合においては半導体レーザ素子の動作電圧がより高くなり、半導体レーザ素子の劣化がより著しく、素子の寿命がより短くなる。

【0012】一方、図8に示すようなサファイア基板81を用いた半導体レーザ素子以外に、GaIn基板を用いた半導体レーザ素子の研究も進められている。

【0013】GaIn基板を用いた半導体レーザ素子においては、例えばGaIn基板の一方の面に $n\text{-GaIn}$ 層、 $n\text{-InGaIn}$ クラック防止層、 $n\text{-AlGaIn}$ クラッド層、InGaIn発光層、 $p\text{-AlGaIn}$ クラッド層および $p\text{-GaIn}$ コンタクト層が順に形成される。 $p\text{-GaIn}$ コンタクト層および $p\text{-AlGaIn}$ クラッド層にエッチングによりリッジ部が形成される。このリッジ部の $p\text{-GaIn}$ コンタクト層上面に、p電極がオーミック接触している。一方、GaIn基板の他方の面に、n電極がオーミック接触している。

【0014】このようなGaIn基板の他面にn電極が形成されてなる半導体レーザ素子においては、GaIn基板にSiをドーピングしてGaIn基板をn型とする必要がある。

【0015】ここで、GaIn基板におけるSiドーピング濃度が高いほど、GaIn基板の結晶性が劣化する。したがって、GaIn基板において良好な結晶性を得るためには、GaIn基板におけるSi濃度を十分に高くすることができない。

【0016】ところで、半導体レーザ素子の作製時においては、例えばTi膜およびAl膜を順に積層してGaIn基板の他面にn電極を形成した後、熱処理を行う。ここで、前述のようにSiの濃度が十分でないGaIn基板においては、このような熱処理により、n電極とGaIn基板との接触抵抗が増大しオーミック特性が劣化しやすくなる。

【0017】このように、GaIn基板の結晶性と、GaIn基板およびn電極間における接触抵抗とは、トレードオフの関係にある。したがって、この場合においても半導体レーザ素子の動作電圧が高くなり、動作時における発熱量が大きくなる。このため、このような半導体レーザ素子においては動作時における素子の劣化が著しく、素子の寿命が短い。

【0018】本発明の目的は、電極との接触抵抗を低減することにより動作電圧の低減を図ることが可能な窒化物系半導体素子およびその製造方法を提供することである。

【0019】

【発明を解決するための手段および発明の効果】第1の発明に係る窒化物系半導体素子は、III族窒化物系半導体層の電極形成領域の表面に周期的または不規則に凹凸形状が形成され、凹凸形状が形成された電極形成領域上面にオーミック電極が形成されたものである。

【0020】本発明に係る窒化物系半導体素子においては、凹凸形状が形成されたIII族窒化物系半導体層の電極形成領域上面にオーミック電極が形成されている。このため、平坦な表面を有するIII族窒化物系半導体層の電極形成領域上にオーミック電極が形成される場合に比べて、オーミック電極とIII族窒化物系半導体層の電極形成領域との間の接触面積が大きくなる。

【0021】したがって、このような窒化物系半導体素子においては、III族窒化物系半導体層の電極形成領域とオーミック電極との間の接触抵抗を低減して、動作電圧の低減化を図ることが可能となる。それにより、窒化物系半導体素子において、動作時における発熱量が低減され、素子寿命が長くかつ信頼性の高い窒化物系半導体素子の実現可能となる。

【0022】また、III族窒化物系半導体層は、III族窒化物系半導体からなる基板を含んでもよい。この場合においては、基板の電極形成領域上に凹凸形状が形成されるため、基板に形成された電極形成領域とオーミック電極との間の接触面積を大きくすることが可能となる。それにより、基板に形成された電極形成領域とオーミック電極との間の接触抵抗を低減することが可能となる。

【0023】第2の発明に係る窒化物系半導体素子は、基板上に、第1導電型の第1のIII族窒化物系半導体層と、III族窒化物系半導体からなる能動素子領域と、第2導電型の第2のIII族窒化物系半導体層とが順に形成されてなる窒化物系半導体素子であって、第1のIII族窒化物系半導体層の所定領域に第1の電極形成領域が配置されるとともに第2のIII族窒化物系半導体層の所定領域に第2の電極形成領域が配置され、第1の電極形成領域の表面および第2の電極形成領域の表面の少なくとも一方に周期的または不規則に凹凸形状が形成され、第1の電極形成領域上に第1導電型のオーミック電極が形成されるとともに第2の電極形成領域上に第2導電型のオーミック電極が形成されたものである。

【0024】なお、ここで、窒化物系半導体素子の能動素子領域とは、例えば発光ダイオード素子や半導体レーザ素子の発光層や活性層、導波路素子のコア層、PINフォトダイオードのI層、フォトダイオードやHBT（ヘテロ接合バイポーラトランジスタ）のpn接合部分、FET（電界効果型トランジスタ）のチャンネル部分等に相当する。

【0025】本発明に係る窒化物系半導体素子においては、第1の電極形成領域の表面および第2の電極形成領域の表面の少なくとも一方に凹凸形状が形成されている。このため、第1の電極形成領域と第1のオーミック電極との間の接触面積および／または第2の電極形成領域と第2のオーミック電極との間の接触面積を大きくすることが可能となる。

【0026】したがって、このような窒化物系半導体素子においては、第1の電極形成領域と第1のオーミック

電極との間の接触抵抗および／または第2の電極形成領域と第2のオーミック電極との間の接触抵抗を低減し、動作電圧の低減化を図ることが可能となる。

【0027】動作電圧の低減化が図られた上記の窒化物系半導体素子においては、動作時における発熱量を低減することが可能となる。したがって、寿命が長くかつ信頼性の高い窒化物系半導体素子の実現可能となる。

【0028】第1導電型の第1のIII族窒化物系半導体層は第1のコンタクト層を含み、第2導電型の第2のIII族窒化物系半導体層は第2のコンタクト層を含み、第1のコンタクト層の所定領域に第1の電極形成領域が配置されるとともに第2のコンタクト層の所定領域に第2の電極形成領域が配置され、第1のコンタクト層の第1の電極形成領域の表面および第2のコンタクト層の第2の電極形成領域の表面の少なくとも一方に凹凸形状が形成されもよい。

【0029】この場合においては、第1のコンタクト層の第1の電極形成領域および／または第2のコンタクト層の第2の電極形成領域の表面に凹凸形状が形成される。

【0030】したがって、このような窒化物系半導体素子においては、第1のコンタクト層と第1のオーミック電極との間の接触面積および／または第2のコンタクト層と第2のオーミック電極との間の接触面積を大きくすることが可能となる。このため、第1のコンタクト層と第1のオーミック電極との間の接触抵抗および／または第2のコンタクト層と第2のオーミック電極との間の接触抵抗を低減し、動作電圧の低減化を図ることが可能となる。

【0031】また、共振器を構成する光導波路を含む能動素子領域は発光層であり、第1導電型の第1のIII族窒化物系半導体層はさらに第1のクラッド層を含み、第2導電型の第2のIII族窒化物系半導体層はさらに第2のクラッド層を含み、第2のコンタクト層に配置された第2の電極形成領域の表面に共振器端面に平行に延びる回折格子を構成する凹凸形状が形成されてもよい。

【0032】このような窒化物系半導体素子は、分布帰還型（DFB）半導体レーザ素子に相当する。

【0033】DFB半導体レーザ素子においては、第2のコンタクト層に形成された凹凸形状により発光層の屈折率が周期的に変化しており、それゆえ発光層において発生した光が所定の次元の回折となる。したがって、このような半導体レーザ素子においては、単一縦モードでレーザ発振が可能となる。

【0034】上記のようなDFB半導体レーザ素子においては、電流値または素子温度が変化した場合においてもレーザ光の発振波長が変化せず、一定の波長のレーザ光を安定して発振させることが可能となる。したがって、良好な素子特性を有する窒化物系半導体レーザ素子の実現される。

【0035】特に、このようなDFB半導体レーザ素子においては、第2のコンタクト層に形成する凹凸形状の周期を調整することにより、レーザ光の波長を所望の値に設定することが可能となる。したがって、半導体レーザ素子の波長の選択性が広がる。

【0036】凹凸形状は、複数のストライプ状の凹部および凸部から構成されてもよい。このような複数のストライプ状の凹部および凸部が電極形成領域に形成されることにより、電極形成領域と電極との間の接触面積を大きくすることが可能となる。

【0037】第3の発明に係る窒化物系半導体素子は、導電性基板の一方の面に、第1導電型の第1のIII族窒化物系半導体層と、III族窒化物系半導体からなる能動素子領域と、第2導電型の第2のIII族窒化物系半導体層とが順に形成されてなる窒化物系半導体素子であって、導電性基板の他方の面の所定領域に第1の電極形成領域が配置されるとともに第2のIII族窒化物系半導体層の所定領域に第2の電極形成領域が配置され、第1の電極形成領域および第2の電極形成領域のうち少なくとも第1の電極形成領域の表面に凹凸形状が形成され、第1の電極形成領域上に第1導電型のオーミック電極が形成されるとともに、第2の電極形成領域上に第2導電型のオーミック電極が形成されたものである。

【0038】本発明に係る窒化物系半導体素子においては、少なくとも基板の他方の面に配置された第1の電極形成領域の表面に凹凸形状が形成されている。このため、少なくとも第1の電極形成領域と第1のオーミック電極との間の接触面積を大きくすることが可能となる。

【0039】したがって、このような窒化物系半導体素子においては、少なくとも基板の他方の面に配置された第1の電極形成領域と第1のオーミック電極との間の接触抵抗を低減し、動作電圧の低減化を図ることが可能となる。

【0040】動作電圧の低減化が図られた上記の窒化物系半導体素子においては、動作時における発熱量を低減することが可能となる。したがって、寿命が長かつ信頼性の高い窒化物系半導体素子が実現可能となる。

【0041】導電性基板は窒化ガリウムから構成されてもよい。この場合においては、基板と、基板上に形成された第1および第2のIII族窒化物系半導体層ならびに能動素子領域との間における格子定数の差が小さくなる。このため、第1および第2のIII族窒化物系半導体層ならびに能動素子領域においては、基板との格子定数の差に起因して発生する転位が低減されている。したがって、これらの層において良好な結晶性が実現されるため、窒化物系半導体素子において素子特性の向上が図られる。

【0042】第4の発明に係る窒化物系半導体素子の製造方法は、III族窒化物系半導体層に電極形成領域を形成する工程と、電極形成領域の表面に凹凸形状を形成す

る工程と、凹凸形状を形成した電極形成領域上にオーミック電極を形成する工程とを備えたものである。

【0043】本発明に係る窒化物系半導体素子の製造方法においては、凹凸形状が形成されたIII族窒化物系半導体層の電極形成領域上に凹凸形状を形成し、この凹凸形状が形成された電極形成領域上にオーミック電極を形成する。このため、平坦な表面を有するIII族窒化物系半導体層の電極形成領域上にオーミック電極を形成する場合に比べて、オーミック電極とIII族窒化物系半導体層の電極形成領域との間の接触面積を大きくすることが可能となる。

【0044】したがって、上記の方法により作製した窒化物系半導体素子においては、III族窒化物系半導体層の電極形成領域とオーミック電極との間の接触抵抗を低減して、動作電圧の低減化を図ることが可能となる。それにより、窒化物系半導体素子の動作時における発熱量を低減することが可能となる。その結果、素子寿命が長かつ信頼性の高い窒化物系半導体素子が実現可能となる。

【0045】また、III族窒化物系半導体層は、III族窒化物系半導体からなる基板を含んでもよい。この場合においては、基板の電極形成領域に凹凸形状を形成するため、基板の電極形成領域とオーミック電極との間の接触面積を大きくすることが可能となる。それにより、基板の電極形成領域とオーミック電極との間の接触抵抗を低減することが可能となる。

【0046】また、凹凸形状を形成する工程は、電極形成領域をエッチングする工程、または電極形成領域を研磨する工程を含んでもよい。

【0047】なお、III族窒化物系半導体層の結晶成長表面の電極形成領域に凹凸形状を形成する場合においては、エッチングにより凹凸形状を形成することが好ましい。このようにエッチングにより凹凸形状を形成することにより、III族窒化物系半導体層の結晶成長表面への損傷を抑制しながら凹凸形状を形成することが可能となる。

【0048】一方、III族窒化物系半導体からなる基板の電極形成領域に凹凸形状を形成する場合においては、研磨により凹凸形状を形成することが好ましい。この場合においては、研磨により、基板の他方の面上に成長したIII族窒化物系半導体層に損傷を与えることなく容易に凹凸形状を形成することが可能となる。

【0049】

【発明の実施の形態】以下においては、本発明に係る窒化物系半導体素子の例として、窒化物系半導体レーザ素子について説明する。

【0050】図1～図3は、本発明に係る窒化物系半導体レーザ素子の製造方法の例を示す模式的な工程断面図である。

【0051】まず、図1(a)に示すように、サファイ

ア基板1のC(0001)面上に、アンドープのAl_{0.5}Ga_{0.5}Nからなり厚さが250Åであるバッファ層2、厚さ2μmのアンドープGa_{0.9}N層3、SiドープのGa_{0.9}Nからなる厚さ3μmのn-GaNコンタクト層4、SiドープのIn_{0.1}Ga_{0.9}Nからなる厚さ0.1μmのn-InGa_{0.9}Nクラッド防止層5、SiドープのAl_{0.07}Ga_{0.93}Nからなる厚さ1μmのn-AlGa_{0.93}Nクラッド層6、InGa_{0.9}NからなるMQW(多重量子井戸)発光層7、MgドープのAl_{0.07}Ga_{0.93}Nからなるp-AlGa_{0.93}Nクラッド層8およびMgドープのGa_{0.9}Nからなる厚さ0.05μmのp-GaNコンタクト層9を順に成長させる。このような各層2~9は、例えばMOCVD法(有機金属化学的気相成長法)により成長させる。

【0052】この場合、MQW発光層7は、SiドープのIn_{0.02}Ga_{0.98}Nからなる厚さ60nmの4つのn-InGa_{0.98}N障壁層と、SiドープのIn_{0.1}Ga_{0.9}Nからなる厚さ30nmの3つのn-InGa_{0.9}N井戸層とが交互に積層された多重量子井戸(MQW)構造を有する。

【0053】続いて、図1(b)に示すように、p-GaNコンタクト層9からp-AlGa_{0.93}Nクラッド層8までの一部領域を反応性イオンエッチング法(RIE法)または反応性イオンビームエッチング法(RIBE法)によりエッチングする。それにより、p-GaNコンタクト層9およびp-AlGa_{0.93}Nクラッド層8からなるストライプ状のリッジ部を形成する。

【0054】さらに、p-AlGa_{0.93}Nクラッド層8の平坦部からn-GaNコンタクト層4までの一部領域を、RIE法またはRIBE法により、所定深さまでエッチングし、n-GaNコンタクト層4のn電極形成領域20を露出させる。

【0055】次に、上記のリッジ部の上面および両側面、p-AlGa_{0.93}Nクラッド層8の平坦部上面ならびにn-GaNコンタクト層4のn電極形成領域20上面に、Ni、SiO₂等からなるマスク(図示せず)を形成する。その後、このマスク上にフォトレジストを塗布するとともに、フォトリソ法を用いた露光法、干渉露光法、電子ビーム(EB)露光法等によりパターンニングを行って、フォトレジストに所定のパターンを形成する。

【0056】次に、上記のようにして形成したフォトレジストのパターンに基づいてマスクをパターンニングする。例えばこの場合においては、マスクのリッジ部上の領域に、所定の幅を有しかつ半導体レーザ素子の共振器長方向と平行な方向にのびる複数のストライプ状の開口部を所定の間隔で形成する。

【0057】さらに、上記のパターンが形成されたマスクを用いて、RIE法やRIBE法により、マスクの開口部内で露出したリッジ部のp-GaNコンタクト層9を所定の深さまでエッチングする。このようなエッチン

グの後、マスクを除去する。

【0058】以上のようにして、図2(c)に示すように、リッジ部のp-GaNコンタクト層9の表面に、半導体レーザ素子の共振器長方向と平行な方向にのびるストライプ状の凹部および凸部を所定の周期で形成する。

【0059】さらに、p-GaNコンタクト層9の表面に凹凸形状を形成する上記の場合と同様の方法により、n-GaNコンタクト層4のn電極形成領域20の所定領域表面に、半導体レーザ素子の共振器長方向と平行な方向にのびるストライプ状の凹部および凸部を所定の周期で形成する。

【0060】なお、この場合における凹凸形状の周期とは、1つの凹部の幅と、これに隣接する片方の凸部の幅とを合わせた値のことである。

【0061】ここで、上記においては、p-GaNコンタクト層9の表面に凹部および凸部を形成した後にn-GaNコンタクト層4の表面に凹部および凸部を形成しているが、n-GaNコンタクト層4の表面に凹部および凸部を形成した後にp-GaNコンタクト層9の表面に凹部および凸部を形成してもよい。

【0062】上記のようにしてp-GaNコンタクト層9およびn-GaNコンタクト層4の表面に凹凸形状を形成した後、図2(d)に示すように、リッジ部の両側面、p-AlGa_{0.93}Nクラッド層8の平坦部上面、p-AlGa_{0.93}Nクラッド層8からn-GaNコンタクト層4までの側面、ならびにn電極形成領域20を除くn-GaNコンタクト層4の上面に、SiO₂等からなる絶縁膜12を形成する。

【0063】さらに、図3(e)に示すように、p-GaNコンタクト層9表面の凹部内および凸部上を被覆するようにNi膜およびAu膜を順に積層してp電極10を形成する。

【0064】また、図3(f)に示すように、n-GaNコンタクト層4のn電極形成領域20の表面の凹部内および凸部上を被覆するようにAl膜およびTi膜を順に積層してn電極11を形成する。

【0065】以上のようにして、半導体レーザ素子100を作製する。上記の方法により作製された半導体レーザ素子100においては、表面が凹凸形状を有するp-GaNコンタクト層9上にp電極10が形成されている。このため、平坦な表面を有するp-GaNコンタクト層9の上面にp電極を形成する場合に比べて、p電極10とp-GaNコンタクト層9との接触面積が大きくなる。したがって、このような半導体レーザ素子100においては、p-GaNコンタクト層9とp電極10との接触抵抗の低減化が図られる。それにより、キャリア濃度を高くすることが困難であるp-GaNコンタクト層9においても、p電極との間に良好なオーミック接触が得られる。

【0066】また、半導体レーザ素子100において

は、表面が凹凸形状を有する n -Ga N コンタクト層4上に n 電極11が形成される。このため、平坦な表面を有する n -Ga N コンタクト層上に n 電極を形成する場合に比べて、 n 電極11と n -Ga N コンタクト層4との接触面積が大きくなる。したがって、このような半導体レーザ素子100においては、 n -Ga N コンタクト層4と n 電極11との接触抵抗の低減化が図られ、 n 電極との間に良好なオーミック接触が得られる。

【0067】以上のように、上記の半導体レーザ素子100においては、 p -Ga N コンタクト層9および n -Ga N コンタクト層4の表面に凹凸形状を形成することにより、 p 電極10および n 電極11との接触抵抗を低減して動作電圧の低減化を図ることが可能となる。

【0068】したがって、半導体レーザ素子100においては、素子の動作時における発熱を抑制することが可能となる。このため、寿命が長くかつ信頼性の高い半導体レーザ素子の実現可能となる。

【0069】ここで、半導体レーザ素子100の p -Ga N コンタクト層9に形成する複数のストライプ状の凹部および凸部の周期 a は数~数十 μm とすることが好ましい。

【0070】この場合、凹部および凸部の周期 a が小さいほど p 電極10と p -Ga N コンタクト層9との接触面積が大きくなるため好ましいが、上記の範囲より周期 a の小さな凹凸形状をエッチングにより形成することは困難である。したがって、凹部および凸部の周期 a を上記の範囲に設定することにより、エッチングにより容易に凹凸形状を形成することが可能になるとともに、 p 電極10と p -Ga N コンタクト層9との接触面積の増加を十分に図ることが可能となる。

【0071】また、 p -Ga N コンタクト層9表面のストライプ状の凹凸形状における凹部の深さ b は、数十~数百 nm とすることが好ましい。なお、凹部の深さ b は p -Ga N コンタクト層9の厚さに依存しており、 p -Ga N コンタクト層9の凹部下の領域の厚さ t_1 が50 nm 以上となるように凹部の深さ b を設定することが好ましい。

【0072】また、上記においては、 p -Ga N コンタクト層9の表面に形成される凹部および凸部の幅が互いに等しい場合について説明したが、凹部および凸部の幅がそれぞれ異なってもよい。

【0073】一方、半導体レーザ素子100の n -Ga N コンタクト層4に形成する複数のストライプ状の凹部および凸部の周期 c は数~数十 μm とすることが好ましい。

【0074】この場合、凹部および凸部の周期 c が小さいほど n 電極11と n -Ga N コンタクト層4との接触面積が大きくなるため好ましいが、上記の範囲より周期 c の小さな凹凸形状をエッチングにより形成することは困難である。したがって、凹部および凸部の周期 c を上

記の範囲に設定することにより、エッチングにより容易に凹凸形状を形成することが可能になるとともに、 n 電極11と n -Ga N コンタクト層4との接触面積の増加を十分に図ることが可能となる。

【0075】また、 n -Ga N コンタクト層4表面の凹凸形状における凹部の深さ d は、数百 nm ~数 μm とすることが好ましい。なお、凹部の深さ d は n -Ga N コンタクト層4の厚さに依存しており、 n -Ga N コンタクト層4の凹部下の領域の厚さ t_2 が2 μm 以上となるように凹部の深さ d を設定することが好ましい。

【0076】また、上記においては、 n -Ga N コンタクト層4の表面に形成される凹部および凸部の幅が互いに等しい場合について説明したが、凹部および凸部の幅がそれぞれ異なってもよい。

【0077】上記の半導体レーザ素子100において、 p -Ga N コンタクト層9の表面に形成される凹凸形状の周期 a および凹部の深さ b と、 n -Ga N コンタクト層4の表面に形成される凹凸形状の周期 c および凹部の深さ d とは等しくてもよく、あるいは互いに異なってもよい。

【0078】また、 p -Ga N コンタクト層9および n -Ga N コンタクト層4の表面に形成されるストライプ状の凹部および凸部の断面形状は、上記に限定されるものではなく、これ以外の形状、例えば鋸歯状の断面形状であってもよい。

【0079】また、上記においては、 p -Ga N コンタクト層9および n -Ga N コンタクト層4の表面にストライプ状の凹部および凸部を周期的に形成する場合について説明したが、 p -Ga N コンタクト層9および n -Ga N コンタクト層4の表面にストライプ状の凹部および凸部を不規則に形成してもよい。

【0080】また、上記の半導体レーザ素子100においては、 p -Ga N コンタクト層9および n -Ga N コンタクト層4の表面にストライプ状の凹部および凸部からなる凹凸形状を形成する場合について説明したが、これらの層9、4の表面に種々の形状を有する凹部または凸部を分散配置することによりこれらの層9、4の表面に凹凸形状を形成してもよい。

【0081】さらに、上記の半導体レーザ素子100においては、 p -Ga N コンタクト層9および n -Ga N コンタクト層4の表面に凹凸形状を形成する場合について説明したが、 p -Ga N コンタクト層9の表面のみに凹凸形状を形成してもよい。この場合、 p 電極10と p -Ga N コンタクト層9との接触抵抗が低減されるため、半導体レーザ素子100の動作電圧の低減化を図ることが可能となる。

【0082】あるいは、 n -Ga N コンタクト層4の表面のみに凹凸形状を形成してもよい。この場合においては、 n 電極11と n -Ga N コンタクト層4との接触抵抗が低減されるため、半導体レーザ素子100の動作電

圧の低減化を図ることが可能となる。

【0083】なお、上記においては、 n -Ga N からなる n -コンタクト層が形成される場合について説明したが、MQW発光層7への光の閉じ込めを効果的に行うために、Al組成が1~2%の n -AlGa N から構成される n -AlGa N コンタクト層を形成してもよい。

【0084】ここで、Alを含む n -AlGa N コンタクト層は、 n -Ga N コンタクト層に比べてキャリア濃度が低いため、 n 電極11との接触抵抗が大きくなるが、この場合においては n -AlGa N コンタクト層の表面に凹凸形状が形成されるため、Alを含んでいても n 電極11との接触抵抗を十分に低減することが可能である。したがって、この場合においては、動作電圧の低減化が図られるとともにMQW発光層7への光の閉じ込めを効果的に行うことが可能な半導体レーザ素子が実現される。

【0085】上記においては、 p -Ga N コンタクト層9および n -Ga N コンタクト層4の表面に半導体レーザ素子の共振器長方向と平行な方向にのびるストライプ状の凹部および凸部が形成される場合について説明したが、ストライプ状の凹部および凸部は上記以外の方向に形成されてもよい。この場合について、以下に説明する。

【0086】図4は、本発明に係る半導体レーザ素子の他の例を示す模式的な断面図である。図4(a)は共振器長方向と垂直な方向における半導体レーザ素子の断面を示している。また、図4(b)は、図4(a)のA-A線における断面、すなわち共振器長方向と平行な方向における半導体レーザ素子の断面を示している。

【0087】図4に示す半導体レーザ素子101は、以下の点を除いて、図3(f)の半導体レーザ素子100と同様の構造を有する。

【0088】半導体レーザ素子101は、共振器長方向と垂直な方向（共振器端面と平行な方向）にのびる複数のストライプ状の凹部および凸部が形成された p -Ga N コンタクト層90を有する。すなわち、半導体レーザ素子101と半導体レーザ素子100とでは、 p -Ga N コンタクト層90に形成されるストライプ状の凹部および凸部の形成方向が異なっている。

【0089】このような半導体レーザ素子101においては、 p -Ga N コンタクト層90および n -Ga N コンタクト層4の表面に凹凸形状が形成されているため、半導体レーザ素子100と同様、 p 電極10と p -Ga N コンタクト層90との接触抵抗、および n 電極11と n -Ga N コンタクト層4との接触抵抗を低減して動作電圧の低減化を図ることが可能となる。

【0090】したがって、半導体レーザ素子101においては、素子の動作時における発熱を抑制することが可能となり、寿命が長くかつ信頼性の高い半導体レーザ素子が実現可能となる。

【0091】ここで、特に、この場合においては、 p -Ga N コンタクト層90の表面に形成された凹凸形状が回折格子を構成する。すなわち、このような半導体レーザ素子101は、回折格子を有する分布帰還型(Distributed Feedback; DFB)レーザ素子に相当する。

【0092】すなわち、上記の半導体レーザ素子101においては、 p -Ga N コンタクト層90の表面に、共振器長方向と垂直な方向にのびる複数のストライプ状の凹部および凸部からなる周期構造が形成されているため、MQW発光層7における屈折率が周期的に変化している。

【0093】例えば、 p -Ga N コンタクト層90における凹凸形状の周期 e が $0.246\mu\text{m}$ であり、MQW発光層7の屈折率が2.5であり、レーザ光の発振波長が $0.41\mu\text{m}$ である半導体レーザ素子101においては、MQW発光層7で発生した光が3次の回折となり、単一縦モードでのレーザ発振が可能となる。したがって、このような半導体レーザ素子101においては、電流値が変化してもレーザ光の発振波長が変化せず、波長 $0.41\mu\text{m}$ のレーザ光を安定して発振させることが可能となる。したがって、半導体レーザ素子101においては、良好な素子特性が実現可能となる。

【0094】また、 p -Ga N コンタクト層90の表面に形成された凹凸形状が回折格子を構成する半導体レーザ素子101においては、凹凸形状の周期 e を調整することにより、所望の波長を有するレーザ光を単一縦モードで発振させることが可能となる。

【0095】なお、 p -Ga N コンタクト層90表面の凹凸形状における凹部の深さ f に関しては、半導体レーザ素子100の p -Ga N コンタクト層9の凹凸形状における凹部の深さ b において前述した通りである。

【0096】上記の半導体レーザ素子100、101においては、 p -Ga N コンタクト層9、90および n -Ga N コンタクト層4の表面にストライプ状の凹部および凸部が一方向に沿って形成される場合について説明したが、ストライプ状の凹部および凸部は異なる複数の方向に沿って形成されてもよい。

【0097】例えば、 p -Ga N コンタクト層および n -Ga N コンタクト層の表面において、半導体レーザ素子100のように共振器長方向と平行な方向にのびるストライプ状の凹部および凸部を形成するとともに、半導体レーザ素子101のように共振器長方向と垂直な方向にのびるストライプ状の凹部および凸部を形成し、2つの方向にのびるストライプ状の凹部および凸部を互いに直交させて格子状の凹凸形状を形成してもよい。

【0098】図5~図7は、本発明に係る半導体レーザ素子の製造方法の他の例を示す模式的な工程断面図である。

【0099】まず、図5(a)に示すように、厚さが $100\sim170\mu\text{m}$ であるSiドープの n -Ga N 基板2

1上に、Siドープの $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ からなる厚さ $0.1\mu\text{m}$ の n-InGa Nクラッド防止層22、Siドープの $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ からなる厚さ $1\mu\text{m}$ の n-AlGa Nクラッド層23、MQW発光層24、Mgドープの $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ からなる p-AlGa Nクラッド層25およびMgドープの Ga Nからなる厚さ $0.05\mu\text{m}$ の p-GaN コンタクト層26を順に成長させる。このような各層22～26は、例えばMOCVD法（有機金属化学的気相成長法）により成長させる。

【0100】なお、MQW発光層24は、図3（f）の半導体レーザ素子100のMQW発光層7と同様の構造を有する。

【0101】続いて、図5（b）に示すように、 p-GaN コンタクト層26から p-AlGa Nクラッド層25までの一部領域を反応性イオンエッチング法（RIE法）または反応性イオンビームエッチング法（RIBE法）によりエッチングする。それにより、 p-GaN コンタクト層26および p-AlGa Nクラッド層25からなるストライプ状のリッジ部を形成する。

【0102】続いて、図6（c）に示すように、リッジ部の両側面、 p-AlGa Nクラッド層25の平坦部上面に SiO_2 等からなる絶縁膜12を形成する。

【0103】さらに、図6（d）に示すように、リッジ部の p-GaN コンタクト層26上にNi膜からなるp電極10を形成する。

【0104】続いて、図7（e）に示すように、 n-GaN 基板21の結晶成長面と反対側の面（裏面）を、粒径 $10\mu\text{m}$ 以上の研磨剤で研磨する。それにより、 n-GaN 基板21の表面に、2次元的に配列および周期に規則性のない凹部および凸部を形成する。このように、本例においては、研磨により n-GaN 基板21の表面にランダムに凹部および凸部を形成する。

【0105】最後に、図7（f）に示すように、凹凸形状を形成した n-GaN 基板21の表面において、凹部内および凸部上を被覆するようにAl膜およびTi膜を順に積層してn電極11を形成する。

【0106】上記の方法により作製された半導体レーザ素子102においては、表面が凹凸形状を有する n-GaN 基板21上にn電極11が形成される。このため、平坦な表面を有する n-GaN 基板上にn電極が形成される場合に比べて、n電極11と n-GaN 基板21との接触面積が大きくなる。したがって、このような半導体レーザ素子102においては、 n-GaN コンタクト層4とn電極11との接触抵抗の低減化を図ることが可能となる。

【0107】特に、この場合においては、 n-GaN 基板21のドープ濃度が低い場合においても、電極形成後の熱処理時においてオーミック特性の劣化が生じず、 n-GaN 基板21とn電極11との間で良好なオーミック接触が得られる。したがって、半導体レーザ素子10

2においては、 n-GaN 基板21において良好な結晶性が実現できるとともに、 n-GaN 基板21およびn電極11間において良好なオーミック接触を得ることができる。

【0108】以上のように、上記の半導体レーザ素子102においては、 n-GaN 基板21の表面を凹凸形状とすることにより、n電極11との接触抵抗を低減して動作電圧の低減を図ることが可能となる。したがって、半導体レーザ素子102においては、素子の動作時における発熱を抑制することが可能となり、寿命が長かつ信頼性の高い半導体レーザ素子が実現可能となる。

【0109】ここで、 n-GaN 基板21の表面の凹凸形状における凹部の深さは数～数十 μm とすることが好ましい。なお、この場合においては、各凹部の深さは異なってもよい。また、この場合、各凹部および凸部の幅は任意でありかつ不規則であってよいが、n電極11と n-GaN 基板21との接触面積の増加を図る上で各凹部および凸部の幅は小さい方が好ましい。

【0110】また、 n-GaN 基板21に形成される凹部および凸部の断面形状は上記に限定されるものではなく、研磨によって形成される任意の断面形状であってよい。

【0111】上記の半導体レーザ素子102においては、 n-GaN 基板21の表面のみに凹凸形状を形成する場合について説明したが、 p-GaN コンタクト層26の表面にさらに凹凸形状を形成してもよい。この場合、p電極10と p-GaN コンタクト層26との接触抵抗が低減されるため、半導体レーザ素子の動作電圧の低減化がより図られる。

【0112】なお、上記においては、研磨により n-GaN 基板21の表面に凹凸形状を形成する場合について説明したが、半導体レーザ素子100の場合のように、エッチングにより n-GaN 基板21の表面に凹凸形状を形成してもよい。このようにエッチングにより凹凸形状を形成する場合においては、 n-GaN 基板21の表面に形成するストライプ状の凹部および凸部の周期を数～数十 μm とすることが好ましい。

【0113】なお、本例のように研磨により凹凸形状を形成する場合の方が、エッチングにより凹凸形状を形成する場合に比べて容易に凹凸形状を形成することが可能である。

【0114】ここで、 n-GaN 基板21の表面に凹凸形状を形成する場合においては、研磨により凹凸形状を形成しても、基板の他面側に形成された結晶成長層に損傷を与えることはない。これに対して、半導体レーザ素子100のように結晶成長層の表面に凹凸形状を形成する場合においては、研磨により凹凸形状を形成すると、結晶成長層に損傷を与えるおそれがある。

【0115】上記の半導体レーザ素子100、101、102において、各層の構成は上記に限定されるもので

はなく、Al、Ga、In、BおよびTlの少なくとも一つを含む窒化物系半導体から構成されていばよい。

【0116】また、上記においては、本発明を半導体レーザ素子に適用する場合について説明したが、半導体レーザ素子以外の半導体発光素子や半導体発光素子以外の半導体素子に本発明を適用することも可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る半導体レーザ素子の製造方法の例を示す模式的な工程断面図である。

【図2】本発明に係る半導体レーザ素子の製造方法の例を示す模式的な工程断面図である。

【図3】本発明に係る半導体レーザ素子の製造方法の例を示す模式的な工程断面図である。

【図4】本発明に係る半導体レーザ素子の他の例を示す模式的な断面図である。

【図5】本発明に係る半導体レーザ素子の製造方法の他の例を示す模式的な工程断面図である。

【図6】本発明に係る半導体レーザ素子の製造方法の他の例を示す模式的な工程断面図である。

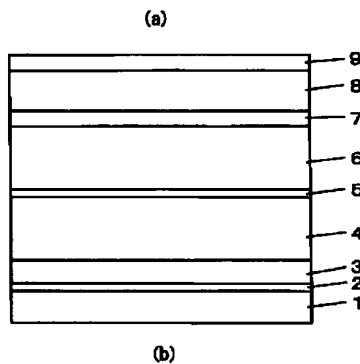
【図7】本発明に係る半導体レーザ素子の製造方法の他の例を示す模式的な工程断面図である。

【図8】従来の半導体レーザ素子の例を示す模式的な断面図である。

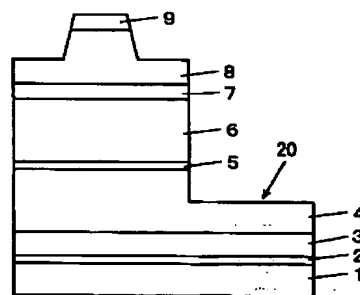
【符号の説明】

- 1 サファイア基板
- 2 バッファ層
- 3 アンダーエピタキシャルGaN層
- 4 n-GaNコンタクト層
- 5, 22 n-InGaNクラッド防止層
- 6, 23 n-AlGaNクラッド層
- 7, 24 MQW発光層
- 8, 25 p-AlGaNクラッド層
- 9, 26 p-GaNコンタクト層
- 10 p電極
- 11 n電極
- 12 絶縁膜
- 21 n-GaN基板
- 100, 101, 102 半導体レーザ素子

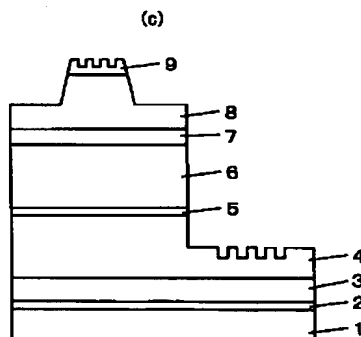
【図1】



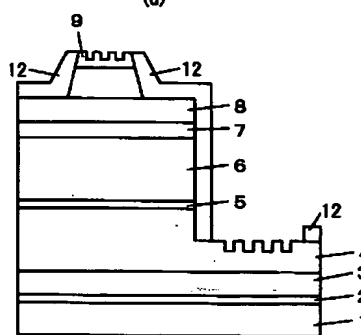
(b)



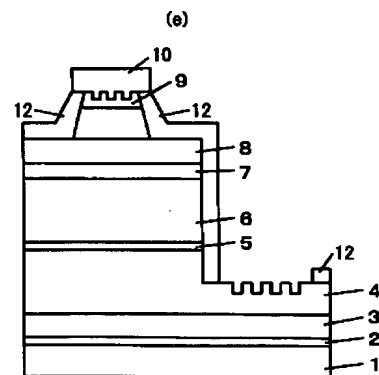
【図2】



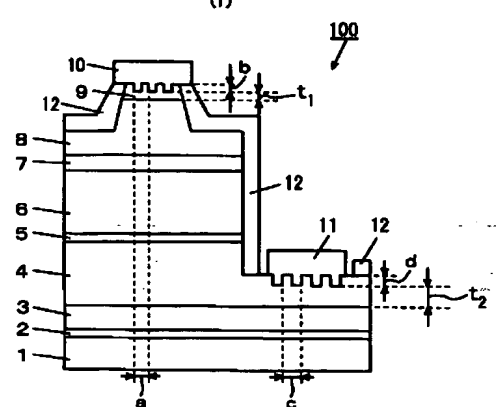
(d)



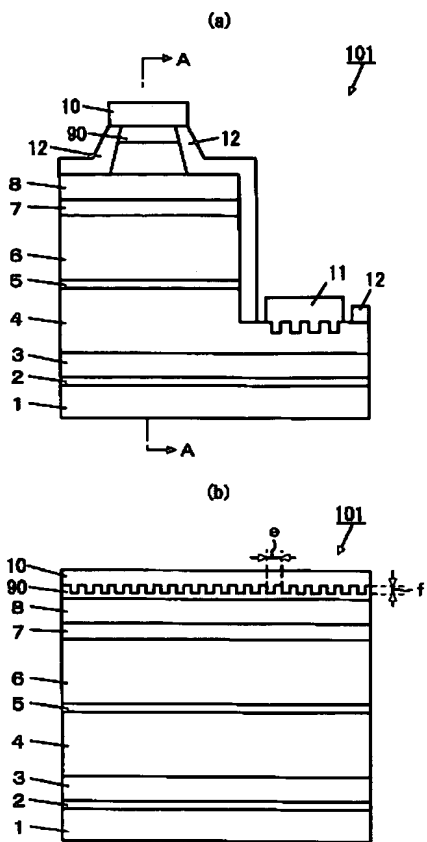
【図3】



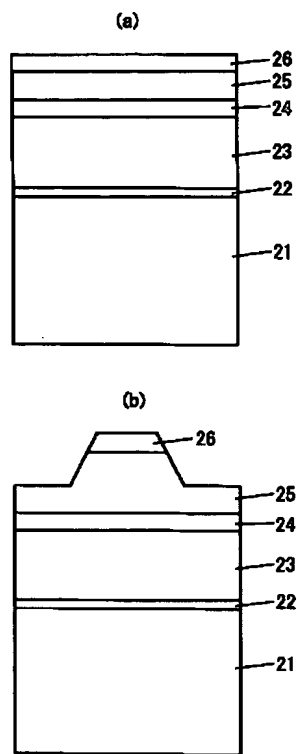
(f)



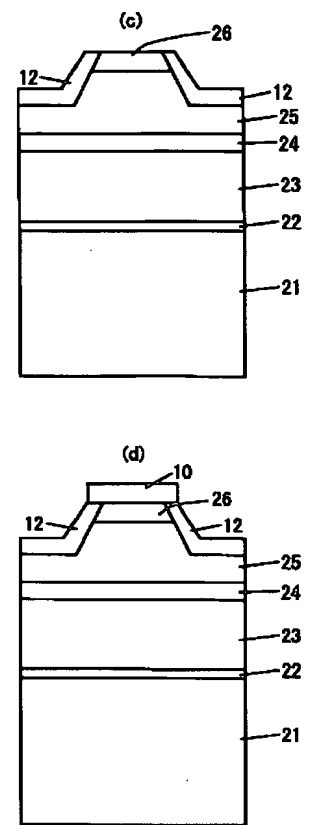
【図4】



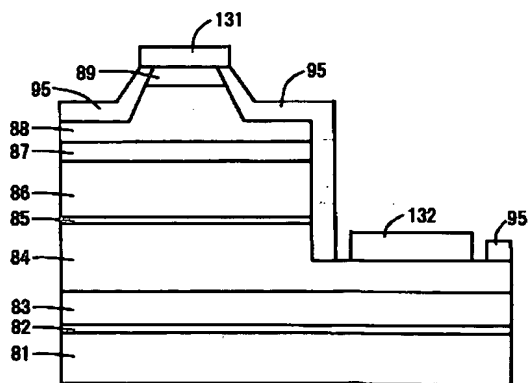
【図5】



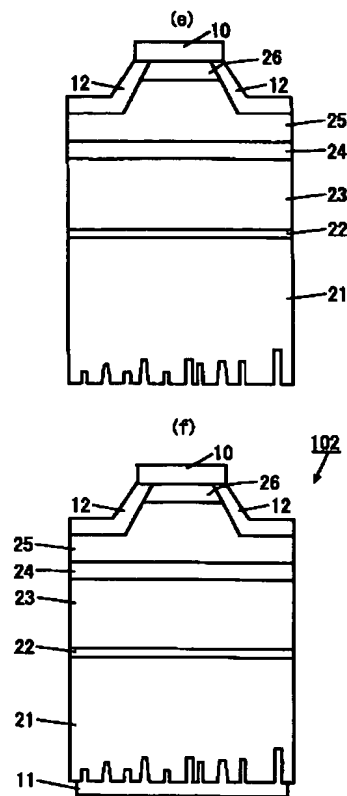
【図6】



【図8】



【図 7】



フロントページの続き

F ターム (参考) 4M104 AA04 BB05 CC01 DD08 DD24
 FF31 GG04 HH15
 5F041 CA40 CA74 CA91 CA93 CA98
 CA99
 5F073 AA11 AA13 AA51 AA61 AA74
 CA07 CB05 CB07 DA25 DA35
 EA23 EA29